

カーボンコンポジット繊維を用いたコンクリートの特性に関する検討

東電設計（株）正会員　○谷　智之
日本原燃（株）正会員　庭瀬一仁
鹿島建設（株）　正会員　横関康祐，取違剛

1. はじめに

現在，低レベル放射性廃棄物処分施設のうち余裕深度処分施設について，施設の構築に向けた各種検討がなされている．施設の形態は，セメント材料とベントナイト材料からなる人工バリアと岩盤からなる天然バリアを基本として構成されている．このうち，セメント系材料を使用した部材の一部にカーボン繊維補強コンクリートの適用が検討され，各種性能評価が行われてきた．しかし，繊維の結束剤として使用されているエポキシ樹脂については，長期耐久性に関して確証が得られていない．そこで，有機物を含有しないカーボン繊維（カーボンコンポジット繊維）を用いた繊維補強コンクリートについて基礎物性を取得し，適用の可能性を評価した．

2. 実験概要

2.1 コンクリートの製造

本試験で使用した材料を表-1 に，カーボン繊維の物性を表-2 に，コンクリートの配合を表-3 に示す．本配合は，低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを内割で 30%置換し，さらに収縮の低減を目的として膨張材を混入したコンクリートである．また，対象部材が無筋コンクリートであるため，ひび割れ抑制の観点からカーボン繊維を混入しており，その混入率は，1.5vol%を基本としている．本検討では，従来より検討を進めてきたエポキシ結束型カーボン繊維（以下 CF1），および本試験で物性取得を行うカーボンコンポジット繊維（以下 CF2）の 2 種類のカーボン繊維を用いた．

コンクリートの練混ぜは，水平二軸強制練りミキサ（練混ぜ量 40L）を用いて行った．練混ぜ方法は，モルタル先練り 60 秒，粗骨材投入後 240 秒練混ぜた後，小型アジテータ（容量約 60L）にコンクリートを投入し，繊維を投入後 5 分の高速攪拌（50 回転/分）を行うこととした．

2.2 検討ケース

本検討においては，カーボン繊維の有無および種類がコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状に与える影響を把握するために，表-4 に示す 3 ケースを設定した．

実施した試験項目を表-5 に示す．試験方法は JIS 規格に準じるものとした．なお，空隙率は，水銀圧入法によってコンクリートの細孔径分布を測定した．また，透水試験は，フローポンプ法¹⁾により，拘束圧 10MPa，通水速度 1.25×10^{-5} cc/min，環境温度 20℃，供試体寸法は ϕ 50mm，L=30mm として実施した．

キーワード：放射性廃棄物処分場，カーボン繊維，カーボンコンポジット
連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL 03-4464-5182 FAX 03-4464-5190

表-1 使用材料

材料	記号	概要
繊維補強材料	CF1	カーボン繊維(エポキシ結束型)
	CF2	カーボン繊維(カーボンコンポジット)
セメント	C	低熱ポルトランドセメント 密度=3.22 g/cm ³ ，比表面積=3.480cm ² /g
細骨材	S	石灰砕砂：密度=2.69g/cm ³ ，FM=2.80
粗骨材	G	石灰碎石：密度=2.70g/cm ³ ，FM=6.62 最大骨材寸法=20mm
混和材	FA	フライアッシュⅡ種 密度=2.33g/cm ³ ，比表面積=3.940cm ² /g
膨張材	EX	低添加型膨張材
混和剤	SP	高性能AE減水剤
消泡剤	AS	空気量調整剤

表-2 カーボン繊維の物性

繊維種類		CF1	CF2
形状	外観		
	燃線状		直方体
	密度(g/cm ³)	1.63	1.55
	断面	ϕ =1.0mm	1.0mm×1.0mm(正方形)
	長さ(mm)	30	30
結束剤		エポキシ樹脂	カーボン

表-3 コンクリートの配合

W/B ^{*1)} (%)	s/a (%)	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)								CF (vol%)
				W	C	FA	EX	S	G	SP	AS	
25	60	65±5	2.5±1.5	160	423	192	25	958	641	11.2	0.26	1.5

*1) B=C+FA+EX

表-4 検討ケース

ケース	繊維種類	添加量 (vol%)	繊維長 (mm)
1	—	0	—
2	CF1	1.5	30
3	CF2	1.5	30

表-5 試験項目および結果

分類	項目	規格	供試 体 個 数	試験結果			
				単位	試験ケース		
					1 (繊維なし)	2 (CF1)	3 (CF2)
フレッシュコン クリート	スランプフロー	JIS A 1150-2001	—	(cm)	70.5	65.5	65.5
	空気量	JIS A 1128-1999	—	(%)	2.1	1.4	1.1
	単位容積質量	JIS A 1116-1998	—	(kg/m ³)	2401	2404	2419
	V漏斗流下時間 ※吐出口75×75mmのV漏斗を使用	JSCE-F512-1999	—	(s)	12.9	25.5	32.0
硬化コン クリート	圧縮強度	JIS A 1108-1999:材齢28日	3	(N/mm ²)	89.4	90.9	95.8
	ヤング係数	JIS A 1149-2001:材齢28日	3	(N/mm ²)	4.3×10^4	4.4×10^4	4.4×10^4
	引張強度	JIS A 1113-1999:材齢28日	3	(N/mm ²)	5.2	6.0	6.3
	曲げ強度	JIS A 1106-1999:材齢28日	3	(N/mm ²)	9.49	9.17	10.37
	曲げ靱性係数	JSCE-G552-1999:材齢28日	3	(N/mm ²)	—	5.34	2.77
	空隙率	水銀圧入法による:材齢28日	2	(%)	10.79	10.46	9.57
	長さ変化試験 ^{*1)}	JIS A 1129-1-2001:材齢1年まで (材齢7日まで水中養生, その後気中)	3	材齢7日	714×10^{-6}	424×10^{-6}	297×10^{-6}
				材齢49日	-307×10^{-6}	-292×10^{-6}	-210×10^{-6}
	透水試験	フローポンプ法による:材齢28日試験開始	3	(m/s)	3.33×10^{-15}	4.05×10^{-15}	7.75×10^{-15}

*1) 試験結果 上段:材齢7日まで(水中養生), 下段:材齢49日まで(材齢7日を基準とした結果), 符号(+):膨張, -:収縮

3. 実験結果

試験結果を表-5 に示す。

フレッシュ性状については、繊維の種類による影響は小さく、CF1・CF2 とともに目標のスランプフローおよび空気量を満足する結果が得られた。

力学性状については、CF1・CF2 とともに繊維の混入によって圧縮・引張・曲げ強度が増加した。また、CF1 よりも CF2 の方がそれらの強度が大きくなる結果が得られた。一方、曲げ靱性係数は繊維なしのケースにおいて 0 N/mm² であり、また、CF1 と比較して CF2 は半分程度の値になったものの、図-1 に示すとおり、最大荷重後にもたわみ 0.4mm 程度までは同等以上の荷重を保っているため、CF2 も CF1 と同様なひび割れ制御効果が得られるものと考えられる。長さ変化については、特に CF2 の繊維混入による効果が大きいことが分かった。空隙率については、繊維混入による影響は小さく、繊維が混入したコンクリートにおいても繊維未混入のコンクリートと同等のバリア性能を有することが確認できた。表-6 に透水試験結果を示す。ここでは、透水試験の実測値から非定常解析を行い、実測値と解析値との比較を行った。図-2 に示すように解析値は実測値を精度よく表現できていることが分かる。本試験においては、実測値は定常状態には至っていないものの、最終的には解析で外挿した値に収束するものと考えられる。

以上の試験結果から、カーボンコンポジット繊維(CF2)は、繊維混入率 1.5vol%、繊維長 30mm においてカーボン繊維補強コンクリートとして、従来のエポキシ結束剤を用いたカーボン繊維(CF1)と同等以上の性能を有し、また耐久性も高いことから適用の可能性が十分にあるものと考えられた。

参考文献

- 1) 笹倉剛, 小林一三: 放射性廃棄物地層処分におけるバリア材料の性能評価技術の開発, 鹿島技術研究所年報, 第 52 号, 2004 年 9 月, pp.17~22

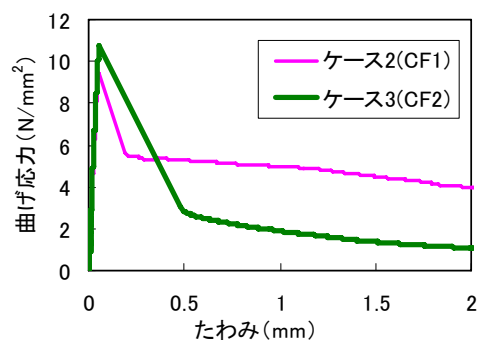


図-1 曲げ試験結果

表-6 透水試験結果

試験結果	時間 (h)	透水係数(m/s)		
		1 (繊維なし)	2 (CF1)	3 (CF2)
実測値	200	3.33×10^{-15}	4.05×10^{-15}	7.75×10^{-15}
解析値	1100	1.53×10^{-15}	2.03×10^{-15}	3.33×10^{-15}

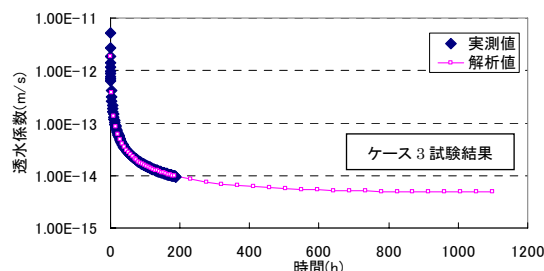


図-2 実測値と解析値の比較